

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 21 日現在

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25289161

研究課題名(和文) データ同化による交通現象の解析と交通調査・マネジメントへの展開

研究課題名(英文) The analysis of traffic state by data assimilation and its application to travel survey and traffic management

研究代表者

佐々木 邦明 (SASAKI, Kuniaki)

山梨大学・総合研究部・教授

研究者番号：30242837

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：計算機能力の進展に伴うシミュレーションの発達と合わせて、交通状態に関する様々な観測データが得られるようになってきた。両者にはいずれも長所と短所があり、これらを融合することで、より精度の高い予測や、観測が不可能な領域の交通状態の推計が可能になると考えられる。本研究では、様々な観測データとして既存のPTだけでなく、携帯電話の基地局データ、プローブカーデータ、スマートフォンデータ、ETCなど様々なデータの活用を検討した。あわせて、行動シミュレーターや、歩行者シミュレーター、交通シミュレーターなどをこれらのデータに同化する事例を通じて、その枠組みを一般化し、交通の調査とマネジメントへの適用を示した。

研究成果の概要(英文)：The simulation approach of transportation state is getting popular according to the development of the computational capacity, while more and more data can be available to measure the traffic state. Both approaches have advantages and disadvantages, respectively. So the assimilation of these approaches will give us more useful tool for the estimation of traffic states. In this study, we applied various type of data, such as the cell phone location data, the probe car data, the smartphone acceleration data and the ETC 2.0 data, besides the traditional person trip data. We also constructed the simulation systems that describe the individual travel behavior of one day, the travel mode choice by game situation, the pedestrian behavior and the traffic flow. The assimilation result through our empirical study indicated the efficacy of the proposed approach. As conclusion, we showed the general frame of this approach for traffic survey and management.

研究分野：交通計画

 キーワード：データ同化 ビッグデータ 状態空間モデル 交通・行動シミュレーション アクティビティモデル 0  
D推計

## 1. 研究開始当初の背景

これまで交通行動のモデリングに関する研究が数多くなされてきた。特に個人の行動に着目したモデリングは1980年代後半以降最も多くの研究がなされたと言っても過言ではない。そのモデルを交通計画に活かす方法として、都市圏交通の予測を個人行動のシミュレーションで行うことが2000年代初頭には盛んであった。しかし、都市圏交通はその範囲が広く、個人の行動を少数の説明変数で動かすシミュレーションは、その精度に問題が多く、改善が困難であったことがあげられる。個人ベースの行動モデルは様々な利点を持つ一方、その再現性が低いことでなかなか現実的な利用が進まなかった。

その一方で、交通にかかわる様々な観測データが手に入るようになってきた。このようなデータは直接交通の分析には使いにくいものではあるが、交通状態の間接的な観測であり、その活用が求められていた。

## 2. 研究の目的

1で述べたような背景のもと、本研究の目的として、まずはシミュレーションと観測データの融合の技法であるデータ同化がどのような役割を果たすのかを明確にし、更に交通計画分野においてその技法の導入が有益であることを明らかにする。加えて、現実的な実用研究を通じてその方法論の利点と活用方法を明示することである。

データ同化の技法自体はすでに多くの自然科学や気象などの分野で用いられているが、各主体の目的とODがあらかじめ規定されているなどの様々な制約条件の加わる交通需要分析においてのデータ同化の可能性などについて検討を行い、その適用可能性を明らかにしたうえで、各種のアプリケーションを示す。

そのために、本研究ではモデルを用いた予測に関わる研究と観測データの活用に関する研究、その統合の3種を設定した。

## 3. 研究の方法

### モデルを用いた行動予測の研究

#### (1) 都市圏需要予測のためのアクティビティシミュレーターの構築

非集計の行動モデル体系を用いて、一日の行動を最適化するツアーベースモデルを構築する。さらにそのモデルをコアとしたシミュレーターを構築し、一日の都市圏での様々な人の流れについての状態を計算できるシステムを構築する。

#### (2) マーケットデザインと手段選択モデル

利用者と提供者のマッチングが必要な状態において、それぞれの意思表示等、選択の環境条件を変化させることで、行動結果にどのような変化が生じるのかを検証するための行動シミュレーションシステムを構築する。

### 観測データからの状態推計の研究

#### (1) テキストマイニングによる行動把握の可能性

交通行動分析に集合知をもたらすものとして、様々なテキストデータの解析が行われている。その対象範囲や適用例をレビューすることで、どのような情報抽出が可能であり、その上で、それを用いて行動の観測結果としての活用可能性についての検討を行う。

#### (2) 各種観測データを用いた移動モードの推測

様々な観測データはあくまで間接的な調査であり、従来の交通調査で得てきた移動モードや目的などが不明確である。そこで、スマートフォンの加速度やGPS等の様々な観測データから旅行速度、三軸加速度等の複数の指標を取り、それによって移動モードの推測を行う。

### 両者の統合に関する研究

#### (1) 観測データとモデルによる歩行者挙動の推定

歩行者の挙動については、多くの施設計画などで重要な役割を果たしているが、そのモデルには様々な問題があった。また、画像解析やモバイルデバイスの発達により様々な観測データも得られるようになってきた。そこで、特にモデルの精度向上だけでなく、大量データが逐次的に入手される状況に備えた歩行者行動モデルの逐次推定について状態空間モデルの枠組みで研究を行う。

#### (2) 行動モデルと観測データを用いた滞在人数の推定

個人行動のツアーベースモデルを構築し、それをコアとしたシミュレーションの構築を行う。これによって多くの交通指標を求められることができるが、特に交通分析において重要な指標であるゾーン別の滞在人数をアウトプットとした際に、他の観測データからゾーンの滞在人数を得ることで、この両者の同化を行う。

#### (3) 目的別動的OD推定法

PT調査は長期的な間隔を持つ調査であり、状況の変化に対応できない可能性がある。一方携帯電話等の記録からリアルタイムに人の滞在状況がわかるようになった。そこで、これらのデータを、エントロピー法の枠組みで適切に融合することで、現在の情報を加味したODを推計する手法を適用する。

#### (4) 不完全データからの交通量推定

道路ネットワークの管理・運営や道路交通の円滑化に資する施策の実施に当たり、道路ネットワーク全体にわたって交通量を的確に把握することが必要である。近年利活用が進められているプローブカーシステムは低

コストで広域な情報収集が可能であるが、その混入率が低い現状では情報が収集できない道路区間や時間帯が存在する。そこで、ネットワーク全体の交通量を的確に把握することを目的とし、これまでに提案されているGGM型の推計モデルの運用に関して、欠損を許容する交通量データセットを効率的に利用できる交通量推計手法を構築する。

#### 4. 研究成果

##### モデルを用いた行動予測の研究

##### (1) 都市圏需要予測のためのアクティビティシミュレーターの構築

甲府都市圏、東京都市圏のPT調査データを用いて、一日の時間帯別の外出活動の最適化を仮定するアクティビティベースモデルを構築した。このモデルを用いることで、各種の交通施策の評価が、時間帯の変更やツアー構成の変更なども含めた評価ができる。

さらに一日の行動を再現することから、トリップ数や滞在ゾーンでの人数、OD等様々な指標が出力できる。このモデルでは、目的地選択の精度が重要であると指摘されてきた。なぜならば都市圏の活動と目的地の組み合わせの選択は非常に幅広くなり、通常の実験モデルでは精度が低くなってしまいうからである。図-1にモデルのツリーの一例を示したが、目的地選択は、ゾーン数に応じるため幅広くなることがわかる。

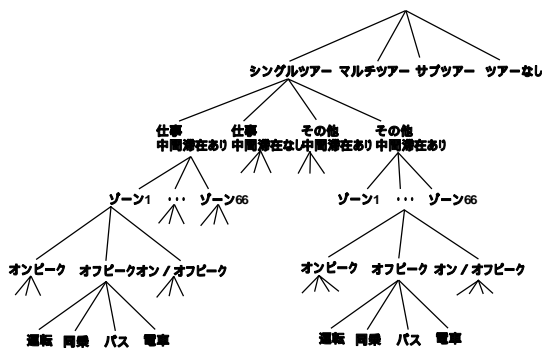


図-1 アクティビティモデルのツリー図

##### (2) マーケットデザインと手段選択モデル

単純な選択モデルだけでなく、供給者と需要者の時空間マッチングが必要な状況についてもシミュレーターの構築を行った。特にライドシェアを事例研究対象として、情報提供下でのマッチング行動をシミュレーションで再現した。特にマッチングの情報提供の状況に応じて、マッチングがどう変化していくのかを示した。図-2は両者のマッチングが失敗したときに、情報提供が行われるある一定の確率でマッチングが可能になるケースとそうでないケースを想定し、その繰り返しによるマッチングの成功数の変化を見たものである。右が情報提供を行ったものであり、情報提供を行わない場合と比較して、マッチ

ングが継続的に行われることを示している。

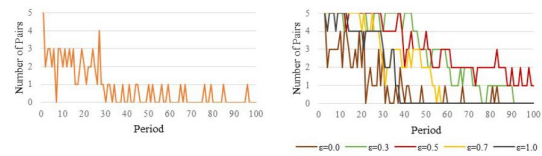


図-2 情報提供の効果と社会的効用の変化

##### 観測データからの状態推計の研究

##### (1) テキストマイニングによる行動把握の可能性

様々な観測データのうち、テキストは行動を観測する重要な情報である。特に「専門知」への信頼の毀損と相俟ってテキスト解析による「集合知」に注目が集まっている。そこで、既存のテキスト分析を網羅的にレビューし、パブリックインボルブメントに関連したものや担当者の意見からの知識抽出だけでなく、交通行動に関する自由回答型調査やTwitter等のSNSからも行動情報が抽出できることが示された。今後の展開として、リアルタイム解析による情報分析の可能性を示し、本研究で用いる同化アルゴリズムへの適用可能性を示した。

##### (2) 各種観測データを用いた移動モードの推測

スマートフォンなどにより自動的に集められたデータから移動手段の推論を行った。特に加速度計によって集められたデータを使用して階層的ロジスティック回帰を用いる移動モードを同定する新しい方法を提案した。ここでは、3つの方法を検討した。列車を除く他のすべてのモードは適切に識別された。列車の場合、記録された加速の範囲が広い場合識別ができない場合もあった。方法としては、図-3に示したOne against All方法が相対的には最もよい識別を行うことを示した。

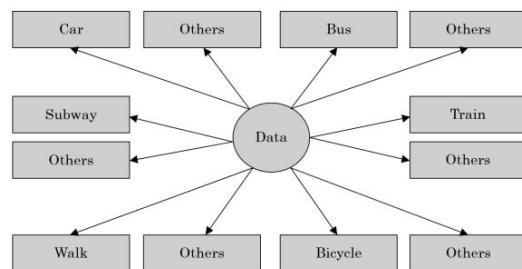


図-3 One against All 法

##### 両者の統合に関する研究

##### (1) 観測データとモデルによる歩行者挙動の推定

ミクロな歩行者挙動モデルのパラメータ推定手法としての一般状態空間モデルの適用可能性を検討した。この手法は、逐次的に得られる挙動データに基づいて逐次的にパラメータ推定が可能であること、結果として

パラメータの時系列変化を捉えられること、取得されるデータの計測誤差を明示的にモデル化できる。

行動モデルには、複数のパラメータを導入したロジットモデルを導入し、状態変数としてそれらのパラメータを逐次推定した。パラメータの時系列的な変化の結果の一例を図-4に示す。これによって、最尤推定などでは困難な行動モデルのパラメータの変化を内包する枠組みを示した。

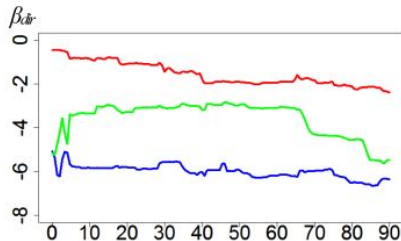


図-4 パラメータの時系列的変化の一例

### (2) 行動モデルと観測データを用いた滞在人数の推定

本研究では、ツアーベースモデルによるシミュレーションを行い、市販の携帯電話の基地局への接続数を観測データとして、行動シミュレーターの結果と同化することで、滞在人数の推計を行った。その結果、シミュレーションでは再現が困難であったばらつきを適切に再現するようになった。今回は一時点での同化であるが、複数時点での同化を行うことで、誤差項の期待値を時系列的に推計可能である。これによって、目的地選択の適合度が高まり、本手法の実用性を確保した。一断面での同化した結果を図-5に示す。

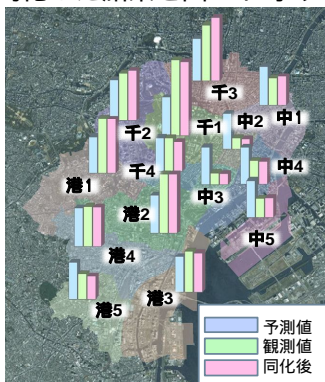


図-5 シミュレーターと観測データの同化

### (3) 目的別動的OD推定法

エントロピー法を用いたGeらの方法を拡張し、全目的への対応が可能なものに改良を行った。その結果をトリップタイプとして自宅-勤務地、自宅-その他、勤務地-自宅、勤務地-その他、その他-自宅、その他-勤務地のトリップについて比較を行った。勤務地-自宅の発生量についての推計状況を図-6に示した。その結果、取得した複数日の人口データを用いて、日々の変動を組み込んだモデル化と交通量推計が可能になり、既存の一日

だけのPTでは推計不可能な変動を織り込んだ推計が可能になった。

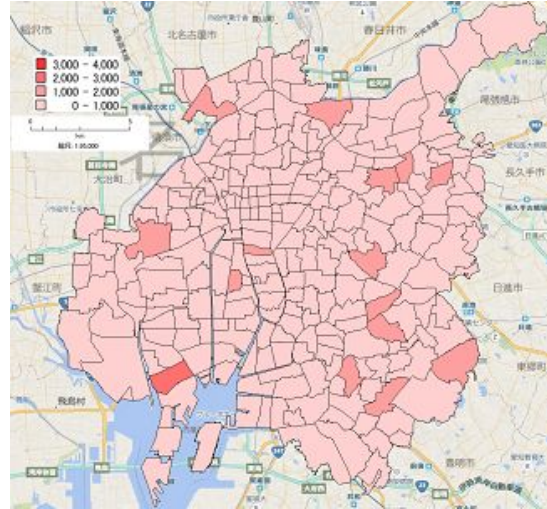


図-6 勤務地-自宅の発生交通量

### (4) 不完全データからの交通量推定

パラメータの推定段階では固有値分解を用いた閉形式の効率的な計算手法を提案した。また、シミュレーションを用いた適用実験を行いモデルのパフォーマンスを検証した。その結果、データの欠損を許容した上で、精度の高い結果を得られる交通量保存則を考慮した交通量推計モデルを構築できた。特に現実的な計算時間で計算が終了するよう効率的な計算式であり、実用性も担保されている。

以上および他の研究成果をまとめて、「多様な観測データの活用による交通状態推定の一般フレーム」として、土木計画学研究発表会の「データ同化のフレームと交通への応用」セッションで報告し、手法の概要及び交通分野への活用方法について示した。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計16件)

Yotsutsuji, H., Sasaki, K., Maruyama, M.: Sustainable market design for short-trip rideshares: simulation based on one-to-one two-sided matching with informational guidance, Asian Transport Studies, Vol.4, No.1, 2016, pp.278-294 (査読有)

Gong, L., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: Comparison of activity type identification from mobile phone GPS data using various machine learning methods, Asian Transport Studies, Vol. 4(1), pp. 114-128, (査読有) 2016. DOI:10.11175/eastsats.4.114

北川大喜・室町泰徳、高速道路ネットワークの発達が東京都市圏の物流施設経由の貨物車トリップに与える影響に関する



研究, 都市計画論文集, Vol.50, No.3, pp.697-702, 2015 (査読有)  
室町泰徳, 交通工学とテキストマイニング, 交通工学, Vol.50, No.1 (査読無) pp.34-37, 2015  
Shafique, A. and Hato, E.: Modelling of Accelerometer Data for Travel Mode Detection by Hierarchical Application of Binomial Logistic Regression, Transportation Research Procedia, Vol.10, pp.236-244, 2015. (査読有)  
Shafique, A. and Hato, E.: Formation of Training and Testing Datasets, for Transportation Mode Identification, Journal of Traffic and Logistics Engineering, 3(1), 77-80, 2015. (査読有)  
中村英夫, 宮下浩一, 羽藤英二, 岸井隆幸: パーソントリップ調査のための加速度センサを活用した Random Forest による移動手段推定手法, 交通工学論文集, Vol.1(5), pp.10-18, 2015 (査読有)  
Ma, J. and Fukuda, D.: A hyperpath-based network generalized extreme-value model for route choice under uncertainties, Transportation Research Part C:Emerging Technologies, Vol. 59, 2015, pp. 19-31 (査読有)  
Ma, J. and Fukuda, D.: Finding multiple dissimilar reliable routes in linear time complexity under travel time uncertainties, Proceedings of the Transportation Research Board 94th Annual Meeting, No. 15-4376 (査読有)  
Tsuboi, Y., Kanamori, R., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: Analysis of parking lot choice behaviors by utilizing accounting data, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 11, pp. 523-536, (査読有) 2015. DOI:10.11175/easts.11.523  
Gong, L., Sato, H., Yamamoto, T., Miwa, T. and Morikawa, T. Identification of activity stop locations in GPS trajectories by density-based clustering method combined with support vector machines, Journal of Modern Transportation, Vol. 23(3), pp. 202-213, 2015. DOI (査読有) 10.1007/s40534-015-0079-x  
Trépanier, M. and Yamamoto, T.: Workshop synthesis: System based passive data streams systems; smart cards, phone data, GPS, Transportation Research Procedia, Vol. 11, pp. 340-349, 2015. (査読有) DOI:10.1016/j.trpro.2015.12.029  
Kameoka, H., Oneyama, H., Sakurai, M., Tsuji, M.: Effect of Dynamic Blink Control of Light-Emitting Devices Installed along a Road Shoulder on Congestion Relief, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol.11, pp.1919-1930, (査読有) Dec.2015, DOI  
布施孝志, 松本圭生:  
モバイル機器搭載センサを統合した自己位置推定手法の開発,  
写真測量とリモートセンシング, Vol.54, No.6, pp.290-299, 2015. (査読有)

中西航, 高橋真美, 布施孝志:歩行者挙動モデルのパラメータ推定への一般状態空間モデルの適用,  
土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol.71, No.5(土木計画学研究・論文集 Vol.32), p.1 559-1 566, 2015. (査読有)  
布施孝志:インフラとしてのデータと解析技術,交通工学, Vol.50, No.1, pp.4-7, 2015. (査読無)

[学会発表](計26件)

Kuniaki Sasaki, Improvement of Short Term Prediction of Micro-Simulation through Parameter Adjustment using Observation of Traffic State, 7<sup>th</sup> CECAR Honolulu, Hawaii, 2016年8月30日~9月2日  
澤田茜, 佐々木邦明:一日の行動を再現する大都市圏非集計需要予測モデル第43回土木学会関東支部技術研究発表会, 2016年3月14日~15日, 東京都市大学  
川辺拓哉, 佐々木邦明:マイクロシミュレーションによる交通需要予測の精度改善に関する研究, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会, 2016年3月14日~15日, 東京都市大学  
白須瑛紀, 佐々木邦明:ツアー概念に基づく甲府都市圏需要予測分析, 第43回土木学会関東支部技術研究発表会, 2016年3月14日~15日, 東京都市大学  
伊藤篤志, 北澤俊彦, 柳沼秀樹, 羽藤英二, 複数データを用いた災害時の車両挙動モデルの構築, 第51回土木計画学研究発表会, 2015年6月6日~7日, CDROM, 2015.  
鈴木康平, 佐々木邦明, ボラティリティに着目した高速道路の区間所要時間変動の時系列分析, 土木計画学研究・講演集 CD-ROM, 2015年11月21~23日, 秋田大学  
Kuniaki Sasaki: Re-calibration of Traffic Simulation Parameters by Data Assimilation - Toward a real time simulation for short-term forecasting - Proceedings of the Fifth International Conference on Transportation Engineering, 2015.10, Dalian, China  
水口正教・福田大輔: 高速道路交通量変動の長期時系列分析, 第51回土木学会・土木計画学研究発表会 2015年6月7日, 九州大学  
伊藤海優・福田大輔・馬江山: Hyperpathに基づく遅刻リスク回避型 経路誘導システムの構築と検証, 第51回土木学会・土木計画学研究発表会 2015年6月6日, 九州大学  
坂匠, 薄井智貴, 山本俊行: パーソントリップ調査データと流動人口データを用いた交通需要予測手法の検討, 第52回土木計画学研究発表会, 秋田市, November 21-23, 2015.  
坂匠, 薄井智貴, 山本俊行: パーソントリップ調査データと流動人口データを用いた交通需要予測手法の検討, 電子情報

通信学会ヒューマンプロブ研究会第13回研究会, 熱海市, June 18-19, 2015.

Gong, L., Yamamoto, T., & Morikawa, T.: Inferring trip purpose from mobile phone GPS data with support vector machines. Presented at 14th ITS Asia Pacific Forum 2015, Nanjing China, April 27-29, 2015.

佐々木邦明, 本山拓樹: 高速道路のミクロシミュレーションへの交通状態観測のフィードバック土木計画学研究・講演集, Vol.51, 2015.6, 九州大学

Kuniaki Sasaki, Kazuo Nishii: The possibility of Text Mining to Extend the Sphere of Behavior Analysis, The 14th International Conference on Travel Behaviour Research, Windsor, July 19-23, 2015.

Yamamoto, T.: Exploring factors to decrease in car ownership among young adults with multiple data sources, Presented at 14th International Conference on Travel Behaviour Research, Windsor, UK, July 19-23, 2015.

Gong, L., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: Comparison of activity type identification from mobile phone GPS data using various machine learning methods, Presented at 11th EASTS Conference, Cebu, Philippines, September 11-14, 2015

Tsuboi, Y., Kanamori, R., Yamamoto, T. and Morikawa, T.: Analysis of parking lot choice behaviors by utilizing accounting data, Presented at 11th EASTS Conference, Cebu, Philippines, September 11-14, 2015.

山本俊行, 宮磊, 金森亮: グループ 1: 交通行動データ収集・解析手法の高度化(その2) 第51回土木計画学研究発表会, 九州大学, June 6-7, 2015.

朱慧瑀・柳原正実・小根山裕之・亀岡弘之・石倉智樹,: 希望速度平準化による非渋滞時の交通流変化に関するシミュレーション分析, ITS シンポジウム 2015, 2015年12月3日~4日.

中西航, 布施孝志: 複数モデルの混合による歩行者の行動分析に向けた検討, 第52回土木計画学研究発表会, 2015年11月21-23日, 秋田大学.

②① 神谷啓太, 布施孝志: 階層ディリクレ過程を利用した人物動態の統計的異常検知, 日本写真測量学会平成27年度秋季学術講演会, 2015年10月29-30日, 釧路市観光国際交流センター.

②② 神谷啓太, 布施孝志: 人物動態のモニタリングに向けた統計的異常検知に関する研究, 第51回土木計画学研究発表会, 2015年6月6-7日, 九州大学.

②③ 中西航, 石川智行, 布施孝志: 動画像を用いた人物位置推定手法の双子実験による性能検証, 第51回土木計画学研究発表会, 2015年6月6-7日, 九州大学.

②④ Kamiya, K. and Fuse, T.: Statistical anomaly detection for monitoring of human dynamics, ISPRS Joint Workshop with WG IV/7 and V/4, May 21-22, 2015, University of Tokyo.

②⑤ Fuse, T. and Matsumoto, T.: Self-localization

method by integrating sensors, ISPRS Joint Workshop with WG IV/7 and V/4, May 21-23, 2015, University of Tokyo.

②⑥ Nakanishi, W., Fuse, T., Ishikawa, T.: Adaptive parameter estimation of person recognition model in a stochastic human tracking process, ISPRS Joint Workshop with WG IV/7 and V/4, May 21-23, 2015, University of Tokyo

〔図書〕(計3件)

Fukuda, D., Ma, J., Yamada, K. and Shinkai,: The Multi-Agent Transport Simulation MATSim, Ubiquity, (2016)

小根山裕之他(共同執筆, 首都大学東京大学院都市基盤環境学域), 技報堂出版: 都市の技術(改訂版), 2016年3月, 総ページ数261, 「小根山は6.2都市の交通システム及び6.3道路交通の管理・運用」(pp.188-207)を執筆

佐々木邦明: 高速交通網社会と山梨, 162-178, 濫谷彰久, 波木井昇, 安達義通編著, 人口減少社会と地域力の創造, 日本評論社, 2016年3月

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐々木 邦明 (SASAKI, Kuniaki)  
山梨大学・総合研究部・教授  
研究者番号: 30242837

### (2) 研究分担者

室町 泰徳 (MUROMACHI, Yasunori)  
東京工業大学・総合理工学研究科・准教授  
研究者番号: 40251350

羽藤 英二 (HATO, Eiji)  
東京大学・工学系研究科・教授  
研究者番号: 60304648

山本 俊行 (YAMAMOTO, Toshiyuki)  
名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授  
研究者番号: 80273465

小根山 裕之 (ONEYAMA, Hiroyuki)  
首都大学東京・都市環境科学研究科・教授  
研究者番号: 90313105

福田 大輔 (FUKUDA, Daisuke)  
東京工業大学・理工学研究科・准教授  
研究者番号: 70334539

布施 孝志 (FUSE, Takashi)  
東京大学・工学系研究科・准教授  
研究者番号: 80361525

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

なし